

関西電力㈱ 正員 小久保 鉄也
 関西電力㈱ 正員 加藤 雅広
 ㈱ニュージェック 正員 劉 炳義
 ㈱ニュージェック 正員 森 涼子

1. はじめに

ダム堆砂対策の一つとして、排砂ゲートによる堆積土砂の排除という方式が実施されている。この場合、堆積土砂の変質割合によっては、放流水のDO低下による下流への影響が懸念される。したがって、長期間堆積した土砂を排出する場合は、事前に排砂に伴うDOの変化を予測することが、河川環境を保全するという観点から、きわめて重要である。そこで、本研究は、黒部川の中流部に位置する出し平ダムにおける排砂実施に伴う一連の検討結果を踏まえて、適切な排砂頻度の決定や排砂に伴う下流への影響を事前に評価することを目的として、堆積状況や堆積期間等多くの要素を考慮できる排砂に伴うDOの変化予測モデルを構築する。本稿は、そのモデルの概要と再現計算結果の一例について記述するものである。

2. 予測モデルの構築

(1) 基本方針およびモデルの構成

出し平ダムにおいては、平成6年2月に試験排砂を実施している。この際得られたデータを基に、排砂時における微細土砂流出に伴うDO低下の原因を調査した結果、主に底質中に含まれる還元性物質の酸化反応によること、中でもFe(Ⅱ)が支配的であることが判明している。底質は連続的に堆積するため、排砂時のDO低下を適切に求めるには、その堆積速度や、DO消費物質の経時変化を推定する必要がある。そこで、1次元土砂動態モデルにDO、Fe(Ⅱ)等の水質関係パラメータを導入することで、堆積状況および堆積期間をも考慮したモデルを構築して、貯水池内および下流河道の排砂時DO値を求めるとともに、その評価を行うものとする。

表一 DO、Fe(Ⅱ)およびFe(Ⅲ)に関するモデル図および基礎方程式

	河道モデル	基礎移行・反応過程モデル図	基礎方程式
貯水池内			$\frac{\partial(C \cdot A)}{\partial t} + \frac{\partial(u \cdot C \cdot A)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + K_s \cdot A \cdot (C_s - C) - K_{SF} \cdot A \cdot C + q \cdot C_{in}$ $\frac{\partial(C_F \cdot A)}{\partial t} + \frac{\partial(u \cdot C_F \cdot A)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD_x \frac{\partial C_F}{\partial x} \right) - K_F \cdot A \cdot C_F + R_F \cdot \sigma_s \cdot B_b \cdot DE$ $\frac{\partial(C_{F2} \cdot A)}{\partial t} + \frac{\partial(u \cdot C_{F2} \cdot A)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD_x \frac{\partial C_{F2}}{\partial x} \right) + K_F \cdot A \cdot C_F + R_{F2} \cdot \sigma_s \cdot B_b \cdot DE$ $\frac{\partial C_L}{\partial t} = K_{sed} \cdot R_{F2} + \Delta R_{SF}$ $\frac{\partial C_{F2}}{\partial t} = -K_{sed} \cdot R_{F2} + \Delta R_{SF}$ $\frac{\partial C_{F2}}{\partial t} = -K_{sed} \cdot R_{F2}$ $R_F = R_F - R_{F2}$
下流河道			$\frac{\partial(C \cdot A)}{\partial t} + \frac{\partial(u \cdot C \cdot A)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + K_s \cdot A \cdot (C_s - C) - K_{SF} \cdot A \cdot C + q \cdot C_{in} + \lambda_b \cdot S \cdot V_r \cdot (C_s - C)$ $\frac{\partial(C_F \cdot A)}{\partial t} + \frac{\partial(u \cdot C_F \cdot A)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD_x \frac{\partial C_F}{\partial x} \right) - K_F \cdot A \cdot C_F + \lambda_b \cdot S \cdot V_r \cdot (C_s - C_F)$ $\frac{\partial(C_{F2} \cdot A)}{\partial t} + \frac{\partial(u \cdot C_{F2} \cdot A)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD_x \frac{\partial C_{F2}}{\partial x} \right) + K_F \cdot A \cdot C_F + \lambda_b \cdot S \cdot V_r \cdot (C_s - C_{F2})$ $\frac{dC_L}{dt} = \frac{V_r}{cd} \cdot (C_s - C) - K_{SF} \cdot C$ $\frac{dC_{F2}}{dt} = -\frac{V_r}{cd} \cdot (C_s - C) + K_{SF} \cdot C$ $\frac{dC_{F2}}{dt} = -\left(\frac{V_r}{cd} + \frac{V_r}{cd} \right) \cdot C_{F2} + \frac{V_r}{cd} \cdot C_{F2} \cdot C_{F2}$ $\frac{dC_{F2}}{dt} = -\frac{V_r}{cd} \cdot C_{F2} - K_{F2} \cdot C_{F2}$ $\frac{dC_{F2}}{dt} = -\frac{V_r}{cd} \cdot C_{F2} + K_{F2} \cdot C_{F2}$

キーワード：ダム排砂、DO消費・回復、Fe(Ⅱ)の酸化、予測モデル

連絡先：関西電力㈱（〒530-8270 大阪市北区中之島 3-3-22 Tel.06-7501-0400 Fax.06-6441-3879）

DO の消費・回復過程の計算対象領域は、ダム貯水池内においては水中および底質中とし、下流河道においては、主流部と、河床砂礫層の間隙水中とする。まず、貯水池内に流入し、堆積した底質中に含まれる Fe (Ⅲ) は、その堆積期間に応じて還元され Fe (Ⅱ) となる。排砂時には、排出土砂中のその時点における Fe (Ⅱ) 量を、下流河川への負荷量として、これをダム直下地点に与え、下流河道における DO、Fe (Ⅱ) の流下過程ならびに DO 回復過程をモデル化し、予測計算を行うものとする。

また、計算対象とする項目およびそれらの基礎移行・反応としては、水中において、DO の再ばつきと Fe (Ⅱ) 酸化による消費、Fe (Ⅱ) の酸化による減少、および酸化による Fe (Ⅲ) の増加とし、底質においては、Fe (Ⅲ) の還元とそれによる Fe (Ⅱ) の生成とする。

さらに、下流河道では、河床の砂礫層中の間隙水と砂礫上を流れる流水との交換、および間隙水中の懸濁粒子の砂礫粒子への吸着をモデル化する

ものとする。(表-1を参照)

(2) 支配方程式

計算対象区間内の各断面について、
①水理量、②流送土砂量、③水質に関する各値を求めるが、このうち、③について基礎方程式を表-1に示す。

(3) 主要パラメータの定式化

本計算で用いる諸パラメータのうち、主なものを、表-2に示す。

3. モデルの妥当性検討

平成6年2月に、出し平ダムにおいて排砂による下流への影響を調査するための試験排砂が行われた。その結果を用いて上記のモデルの有効性を検証する。計算条件は表-3に示すとおりである。

表-3 再現計算条件

項 目	計算条件
・ 再現期間	H6. 2/27 7:00~2/28 24:00
・ 計算ケース (表-2を参照)	CASE1~5、再ばつき係数を5通りに設定
・ 使用流況	当該期間における実績流況
・ 下流河道下流端水位	平均潮位
・ 初期河床形状	H5. 12 実測河床
・ 初期河床粒度分布	H5. 12 排砂再現計算結果に基づき設定
・ 初期河床 Fe (Ⅱ) 含有率	底泥調査結果より、50%粒径との相関

下流河道の4地点における DO の経時変化について、再現計算結果と実測値との比較を図-1に示す。この図より、下流河道の異なる4地点における DO の低下量や最小値の発生時刻等全ケースを通じて、両者がほぼ一致している傾向がうかがえる。したがって、若干のパラメータ選定・調整の余地はあるものの、排砂時の下流河道における DO の消費・回復現象を再現するのに、当モデルは妥当であると考えられる。

4. 結語

ダムの排砂については、出水時後半に流入土砂を溜めることなく排砂することが基本と考えられるが、万が一、長期間堆積した土砂を排出する場合でも、当モデルを用いることにより、貯水池内の任意の堆積状況に対する、排砂時 DO 低下・回復予測が可能と考えられる。今後は、排砂直後から次の排砂直前までの期間についての再現計算によって、Fe (Ⅲ) の貯水池への流入と、堆積後の Fe (Ⅱ) への還元に関する適切なパラメータの同定を行い、モデルの汎用性を図っていく予定である。

表-2 主要パラメータ

項 目	数 式	備 考
再ばつき係数	K_r $K_r = \frac{C_d (C_d \cdot D_m)^{1/2}}{C_2^{3/2} \cdot h_0} \cdot \left(\frac{C_d}{C_2 \cdot D} \right)^{1/2}$ $K_2 = C_3 \cdot \frac{D^{3/8} \cdot \rho^{1/2} \cdot \nu^{3/8} \cdot D^{1/2} \cdot h_0^{3/4} \cdot \nu^{1/8}}{C_2^{1/2} \cdot h_0^{3/2}}$	代表値 (急流) 3通り Dobbins 式 村上式、計5通り
酸化反応速度定数	K_{ox} , K_{ox} $K_{ox} = 7.0 \times 10^{-6} \times Q_c^{-1.1561}$ $K_{ox} = A \cdot \frac{W_p \cdot C}{W_s \cdot C_p} \cdot K_{ox}$	DO消費速度実験
還元反応速度定数	K_{red} $K_{red} = A_0 \cdot Q_c^{-1.1561}$ $E_0 = 27468$, $A = 1.42 \times 10^{17}$	底質還元化実験
河床変動に伴う移行量	D_{rs} , E_{rs} $D_{rs} = r_s \cdot D_{rs}$, $r_s = Q_s / Q_{cs}$ $E_{rs} = r_s \cdot E_{rs}$	堆積時 侵食時
主流部・間隙水の交換速度	V_e $V_e = \alpha_s \cdot U_{*c}$ $\alpha_s = 0.007$	再現計算より
砂礫層厚	αd $\alpha d = 0.5 (m)$	
砂礫粒子への吸着率	a_b $a_b = 0.005$	再現計算より

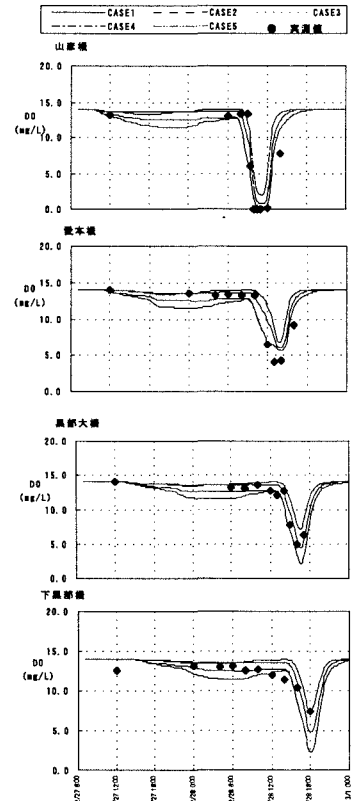


図-1 再現計算結果